

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05464

研究課題名(和文) 近赤外光でフォトクロミズムを示す蛍光性ジアリールエテンの開発

研究課題名(英文) Development of fluorescent diarylethene derivatives that photoswitch with near-infrared light

研究代表者

深港 豪 (Fukaminato, Tsuyoshi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：80380583

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、フォトクロミック分子を用いて様々な生命現象を光で制御・観測する試みが活発化しており、光反応に紫外光を必要としない、可視光や近赤外光で両光異性化反応を示すフォトクロミック分子の開発が切望されている。そのような背景に鑑みて、本研究では近赤外波長域の光で可逆的なフォトクロミック反応を示す蛍光性ジアリールエテンを創出するための基盤研究を行うことを目的とした。そのために、フォトクロミック分子であるジアリールエテンユニットの一部に近赤外波長域に吸収バンドを有する共役蛍光色素を組み込んだ分子の設計・合成に取り組んだ。また、三重項増感反応を利用した近赤外光応答分子の開発にも取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：Recently, the photocontrol of bioactivities using photochromic molecules have been actively studied. For such applications, the irradiation of ultraviolet (UV) light is not desired due to the photodamage and the low permeability of light. Therefore, photoactive molecules that reversibly switch upon visible or near-infrared (NIR) light irradiation are one of the most attractive targets for this research area. In this project, we tried to design and synthesize the fluorescent photochromic diarylethene (DAE) derivatives that photoswitch with NIR light.

One possible approach to prepare such photoswitches is to extend p-conjugation length of molecules and shift the absorption bands to longer wavelengths. In this study, we tried to prepare NIR-light reactive DAE derivatives by introducing fluorescent aromatic dyes at the reactive carbon atoms of the DAE unit. In addition, we also successfully demonstrated the UV-free reversibly photoisomerizations based on the photosensitized reactions.

研究分野：光化学

キーワード：蛍光 フォトクロミズム ジアリールエテン 近赤外光

1. 研究開始当初の背景

近年、光で可逆的に分子構造や分子物性を変化させるフォトクロミック分子を利用し、イオンチャネルの活性 (M. Banghart et al., *Nat. Neurosci.*, **2004**, 7, 1381 など) や抗菌活性 (W. A. Velema et al., *Nat. Chem.*, **2013**, 5, 924 など) といった様々な生命現象に関わる機能を光で制御する試みが活発化している。しかしながら、従来のフォトクロミック分子は、その両光異性化反応において少なくとも片方の光反応には紫外光の照射を必要とする場合がほとんどであり、生体分子に対する紫外光の照射は光毒性・光透過性の低さの観点から致命的な問題となるため、本当の意味で生命科学分野の研究にとって有用なツールにはなっていなかった。

その背景に鑑みて、近年、紫外波長域よりも長波長側の光で可逆的な光反応を誘起できる新しいフォトクロミック分子の開発が活発化しており、フォトクロミック分子の中でも最もよく利用されているアゾベンゼン誘導体に関して、可視光のみで可逆的な光異性化反応を示す分子がいくつも報告され始めていた (例えば、R. Siewertsen et al., *JACS*, **2009**, 131, 15594; A. A. Beharry et al., *JACS*, **2011**, 133, 19684; D. Bléger et al., *JACS*, **2012**, 134, 20597; Y. Yang et al., *JACS*, **2014**, 136, 13190 など)。一方、両異性体の高い熱安定性、優れた繰り返し耐久性、固体状態での光反応性といった様々な有用な特性を有するジアリールエテン誘導体の場合、三重項エネルギー移動、多光子励起過程、およびアップコンバージョン粒子などを利用した可視～近赤外光による光反応の例はあるものの (T. Fukaminato et al., *J. Phys. Chem. C*, **2009**, 113, 11623; K. Mori et al., *JACS*, **2011**, 133, 2621; C.-J. Carling et al., *JACS*, **2009**, 131, 10838 など)、その分子自身が可視域や近赤外波長域の光を吸収し、その光エネルギーにより可逆的なフォトクロミック反応を示すジアリールエテンは皆無であった。ジアリールエテンに対して、可視光や近赤外光に対する光反応性を付与できれば、真の意味で生体系の応用に適した光スイッチング分子を創出できるだけでなく、熱安定なフォトクロミック分子としての利点を活かした更なる研究発展に繋がるものと期待された。

2. 研究の目的

本研究では近赤外波長域の光で可逆的なフォトクロミック反応を示すジアリールエテンを創出するための基盤研究を行うことを目的とした。特に、蛍光性を有する分子は生命現象の光制御と同時に観測の観点から重要であるため、近赤外光に対する光応答性と蛍光スイッチング特性を併せ持つ分子を開発することを目指した。

3. 研究の方法

上述の目的を達成するために本研究では、

フォトクロミック分子であるジアリールエテンユニットの一部に可視域～近赤外波長域に吸収バンドを有する蛍光色素を組み込んだ分子を設計・合成した。具体的には、開環体の状態で近赤外領域に吸収を持つ程度に共役系が拡張した構造を取り、光閉環反応によりその共役長が切断され、ジアリールエテンユニットと共役色素がそれぞれ単独の吸収特性を示す分子を設計した。その際、量子化学計算を基に、(i) 光閉環反応に対する各ユニットの組合せの最適化を行い、(ii) 開環体の吸収波長の長波長化による光閉環反応に対する近赤外光応答性、および (iii) 優れた蛍光特性の付与という三つ段階で目的とする分子開発を行った。また、三重項-三重項エネルギー移動を利用した光増感反応による可視-近赤外光フォトクロミック反応の可能性についても検討した。これらのアプローチにより、目的とする近赤外波長域の光に応答する蛍光性ジアリールエテンに対する分子設計指針の確立を目指した。

4. 研究成果

(1) 可視光～近赤外光でフォトクロミック反応を示すジアリールエテンの開発：これまでの研究から、ジアリールエテンの反応点炭素に共役蛍光色素を導入することで、ヘキサトリエン骨格上に電子を局在させたまま、ジアリールエテン開環体の共役長を拡張させることができ、可視光で可逆的なフォトクロミック反応を示す分子を開発できることを明らかとしていた (T. Fukaminato et al., *JACS*, **2014**, 136, 17145) (図 1)。

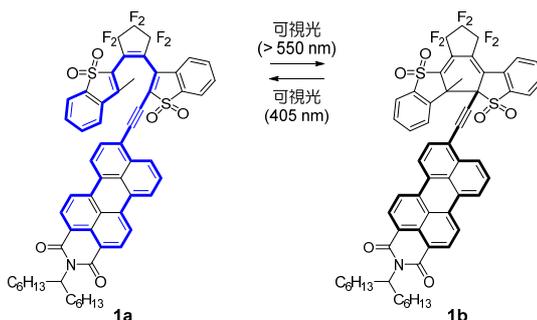


図 1 可視光のみで可逆的なフォトクロミズムを示す蛍光性ジアリールエテン 1

この知見に基づき、本研究ではさらに共役長を拡張させ吸収バンドを長波長側へシフトさせるために、近赤外領域に強い吸収バンドを有するシアニン色素をアリル基として導入した分子 2 (図 2) の合成を試みた。Try & Error の末、目的とする分子 2 を合成することができたものの、その光応答性を確認した結果、いかなる波長の光を照射してもフォトクロミック反応に伴う可逆的な吸収スペクトル変化は認められなかった。この結果は、シアニン骨格の共役系の拡張に伴い、反応に関与する炭素上の電子密度が著しく

低下するためであると考えられた。

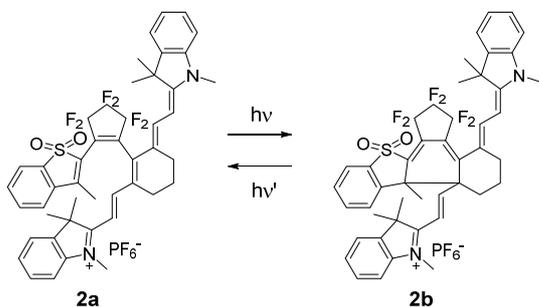


図2 シアニン骨格を導入した蛍光性ジアリールエテン **2**

そこで、可逆的なフォトクロミック反応を示すことが確認された可視域に吸収バンドを有する蛍光色素をヘキサトリエン部位を介して両方の反応点に導入することで、開環体の状態で二つの蛍光色素の共役系がジアリールエテンユニットのヘキサトリエン部位を介して繋がった分子 **3** (図3) を合成した。合成した分子 **3** は蛍光色素を片方の反応点にしか結合していない分子 **1** と比較して、開環体の状態においてより長波長側に吸収バンドがシフトしており、2つの蛍光色素を反応点に導入することで共役系をより大きく拡張できることが明らかとなった。分子 **3** の開環体の溶液に波長 680 nm の赤色光を照射すると光閉環反応に由来する吸収スペクトルの変化が認められた。また、その状態に波長 405 nm の可視光を照射すると元のスペクトルへと戻る可逆的なフォトクロミック反応が観測された。しかしながら、その光反応性(光反応量子収率)は極めて小さく、光定常状態まで変化させるのに長時間の光照射が必要であった。今後、分子軌道計算等により、光反応に対する理想的な分子構造が明らかにされていくものと期待される(論文準備中)。

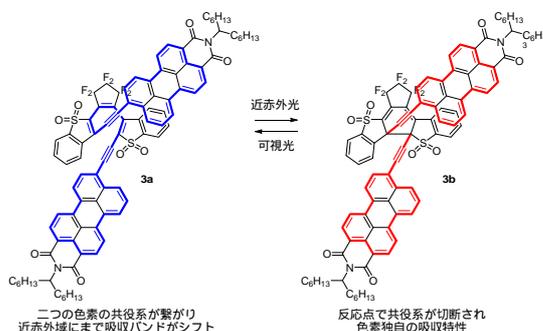


図3 反応点炭素に2つの蛍光色素を導入した蛍光性ジアリールエテン **3**

(2) 三重項 - 三重項エネルギー移動を利用した可視光応答ジアリールエテンの開発：
本研究を進めていく中、蛍光性のペリレンビスイミド色素を結合させたジアリールエテン分子 **4** に、ジアリールエテンの開環体に

波長 532 nm の可視光を照射すると、可視域の吸収バンドが現れ、着色反応が進行する興味深い現象が観測された。その後、波長 600 nm 以上の可視光を照射すると完全に元のスペクトルに戻ることから、このスペクトル変化がジアリールエテンの光閉環反応に起因するものであることが明らかとなった。この反応に対する溶媒依存性を評価した結果、溶媒の極性に対する依存性は認められず、四塩化炭素 (CCl₄) やジクロロエタン (CH₂Cl₂) 溶液などのハロゲン系の溶媒を用いると、その光反応がより効率よく進行する明確な外部重原子効果が確認された。このことから、この反応はペリレンビスイミドの三重項からジアリールエテンの三重項にエネルギー移動し、三重項から光閉環反応が進行しているものと示唆された。さらに、この分子に波長 1064 nm のパルスレーザーを照射すると2光子吸収に対応するペリレンビスイミドからの緑色蛍光が確認され、その光吸収に伴い光増感反応に由来する光閉環反応も誘起されることが明らかとなった。この結果は、1064 nm の近赤外光と可視光で可逆的にジアリールエテンのフォトクロミック反応を制御できることを意味していると考えられる。現在、より効率良く光増感反応を示す分子系の開発を進めている。

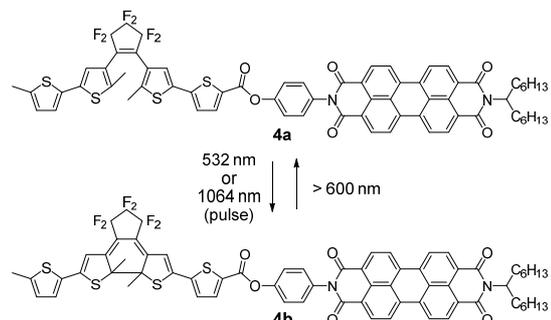


図4 光増感反応を示すペリレンビスイミド連結ジアリールエテン **4**

以上の成果は、本研究の目的である『近赤外光で可逆的なフォトクロミック反応を示す蛍光性ジアリールエテンの開発』に向けて重要な分子設計指針を与える結果であると考えられる。これらの知見を基に最適な分子を開発することで、生命現象の光制御や蛍光イメージングに関する研究分野に大きく貢献できるものと期待される。

5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線)

〔雑誌論文〕(計 9 件)

T. Nakahama, D. Kitagawa, H. Sotome, T. Fukaminato, S. Ito, H. Miyasaka, S. Kobatake, "Fluorescence on/off switching in nanoparticles consisting of two types of diarylethenes", ACS Omega, 査読有, Vol.3, No.2, 2018,

pp.2374-2382
DOI: 10.1021/acsomega.8b00238
S. Sasaki, T. Watanabe, Y. Ishibashi, T. Fukaminato, T. Asahi, "Giant fluorescence modulation induced by UV/vis excitation of benzothiadiazole nanoparticles doped with diarylethene derivatives", Chemistry Letters, 査読有, Vol.47, No.2, 2018, pp.163-166
DOI: 10.1246/cl.170973
C. Pin, S. Ishida, G. Takahashi, T. Fukaminato, K. Sasaki, "Near-field optical forces-assisted molecular nanoparticle deposition in the nanogap of plasmonic nanoantennas", Proceeding of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 査読有, Vol.10252, 2017, Article number 102520Z
DOI: 10.1117/12.2275018
S. Ishida, T. Fukaminato, S.-N. Kim, T. Ogata, S. Kurihara, "Sequential Red-Green-Blue (RGB) fluorescence color photoswitching in multicomponent photochromic fluorescent nanoparticles", Chemistry Letters, 査読有, Vol.46, No.8, 2017, pp.1182-1185
DOI: 10.1246/cl.170436
S. Ishida, T. Fukaminato, D. Kitagawa, S. Kobatake, S.-N. Kim, T. Ogata, S. Kurihara, "Wavelength-selective and high-contrast multicolour fluorescence photoswitching in a mixture of photochromic nanoparticles", Chemical Communications, 査読有, Vol.53, No.59, 2017, pp.8268-8271 (back cover)
DOI: 10.1039/c7cc02938a
S.-N. Kim, J. Shimazu, T. Fukaminato, T. Ogata, S. Kurihara, "Thermal conductivity of graphene oxide-enhanced polyvinyl alcohol composites depending on molecular interaction", Polymer (United Kingdom), 査読有, Vol.129, pp.201-206
DOI: 10.1016/j.polymer.2017.09.055
Y. Osakada, T. Fukaminato, Y. Ichinose, M. Fujitsuka, Y. Harada, T. Majima, "Live cell imaging using photoswitchable diarylethene-doped fluorescent polymer dots", Chemistry-An Asian Journal, 査読有, Vol.12, No.20, 2017, pp.2660-2665
DOI: 10.1002/asia.201701038
J. Su, T. Fukaminato, J.-P. Placial, T. Onodera, R. Suzuki, H. Oikawa, A. Brosseau, F. Brisset, R. Pansu, K. Nakatani, R. Métivier, "Giant amplification of photoswitching by a

few photons in fluorescent photochromic organic nanoparticles", Angewandte Chemie International Edition, 査読有, Vol. 55, No. 11, 2016, pp.3662-3666, (Hot paper & inside back cover)

DOI: 10.1002/anie.201601640
M. Wakabayashi, S. Yokojima, T. Fukaminato, K. Shiino, M. Irie, S. Nakamura, "Anisotropic Elliptical Dichroism and Influence of Imperfection of Circular Polarization upon Anisotropic Circular Dichroism", Journal of Chemical Physics, 査読有, Vol. 142, No. 15, 2015, pp.154102
DOI: 10.1063/1.4917174

[学会発表](計40件)

Christophe Pin, Shutaro Ishida, Genta Takahashi, Tsuyoshi Fukaminato, Keiji Sasaki, 「Optical trapping and deposition of molecular nanoparticles in the nanogap of plasmonic antennas」, 日本化学会第98春季年会、2018年3月20-23日、日本大学理工学部 船橋キャンパス、千葉

狭川雄大、深港豪、伊藤冬樹、「蛍光変化をプローブとしたジフェニルアラニン誘導体の自己集合化過程」, 日本化学会第98春季年会、2018年3月20-23日、日本大学理工学部 船橋キャンパス、千葉

石田沙奈恵、北川大地、小島誠也、金善南、緒方智成、栗原清二、深港豪、「蛍光性ジアリールエテン結晶の蛍光スイッチング特性」, 日本化学会第98春季年会、2018年3月20-23日、日本大学理工学部 船橋キャンパス、千葉

石田沙奈恵、深港豪、「蛍光性ジアリールエテンナノ粒子を用いたマルチカラー蛍光スイッチングに関する研究」, 第38回光化学若手の会、2017年6月16-18日、休暇村志賀島、福岡

深港豪、「フォトクロミック分子材料を用いた生体機能の光制御」, 第38回光化学若手の会(招待講演)、2017年6月16-18日、休暇村志賀島、福岡

高島諒哉、登直幹、森村茂、新留琢郎、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、「カチオン型光応答性界面活性剤を用いた細胞毒性および抗菌作用の光制御」, 2017年光化学討論会、2017年9月4-6日、東北大学青葉山キャンパス、宮城
馬場健介、高島諒也、金善南、緒方智成、栗原清二、深港豪、「両親媒性ブリッジ型アゾベンゼン誘導体の合成と光化学特性」, 2017年光化学討論会、2017年9月4-6日、東北大学青葉山キャンパス、宮城

橋本拓磨、松本悠花、金善南、緒方智成、栗原清二、深港豪、「外部刺激により誘起

されるアゾベンゼン高分子液晶の配向性を利用した蛍光スイッチング」、2017年光化学討論会、2017年9月4-6日、東北大学青葉山キャンパス、宮城

石田沙奈恵、北川大地、小島誠也、小野寺恒信、及川英俊、金善南、緒方智成、栗原清二、深港豪、「結晶性を有する蛍光性ジアリールエテンの非線形蛍光スイッチング挙動」、2017年光化学討論会、2017年9月4-6日、東北大学青葉山キャンパス、宮城

石田沙奈恵、金善南、緒方智成、栗原清二、深港豪、「蛍光性フォトクロミックナノ粒子における非線形蛍光スイッチング挙動を利用したマルチカラー蛍光スイッチング」、2017年9月4-6日、東北大学青葉山キャンパス、宮城

Sanae Ishida, Tsuyoshi Fukaminato, Sunnum Kim, Tomonari Ogata, Seiji Kurihara, 「Multi-color fluorescence photoswitching based on a non-linear fluorescence quenching in fluorescent photochromic nanoparticles」、First Workshop on Photo-active Nanomaterials with Cooperative and Synergetic Responses, 2017年3月27-28日、ENS-Paris Saclay, France

Sanae Ishida, Tsuyoshi Fukaminato, Sunnum Kim, Tomonari Ogata, Seiji Kurihara, 「Multi-color fluorescence photoswitching based on a non-linear fluorescence quenching in fluorescent photochromic nanoparticles」、First Workshop on Photo-active Nanomaterials with Cooperative and Synergetic Responses, 2017年3月27-28日、ENS-Paris Saclay, France

Tsuyoshi Fukaminato、「Multi-color fluorescence photoswitching in a mixture of fluorescent photoswitchable molecules」、First Workshop on Photo-active Nanomaterials with Cooperative and Synergetic Responses (招待講演) 2017年3月27-28日、ENS-Paris Saclay, France

深港豪、石田沙奈恵、金善南、緒方智成、栗原清二、「非線形蛍光スイッチング挙動に及ぼす蛍光性ジアリールエテナノ粒子の光開環反応量子収率の影響」、日本化学会第97春季年会、2017年3月16-19日、慶應義塾大学日吉キャンパス、神奈川

石田沙奈恵、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、「非線形蛍光消光挙動を利用したジアリールエテナノ粒子の多色蛍光スイッチング」、日本化学会第97春季年会、2017年3月16-19日、慶應義塾大学日吉キャンパス、神奈川

馬場健介、高島諒哉、深港豪、金善南、

緒方智成、新留琢郎、栗原清二、「細胞死の光制御に向けた光応答性界面活性剤の合成」、日本化学会第97春季年会、2017年3月16-19日、慶應義塾大学日吉キャンパス、神奈川

橋本拓磨、深港豪、金善南、緒方智成、鈴木龍樹、小野寺恒信、及川英俊、栗原清二、「蛍光性ジアリールエテナノ結晶の蛍光スイッチング」、日本化学会第97春季年会、2017年3月16-19日、慶應義塾大学日吉キャンパス、神奈川

深港豪、「協同的な分子間相互作用を利用した蛍光スイッチング分子システム」、高分子学会九州支部フォーラム(招待講演)、2017年1月20日、熊本大学黒髪キャンパス、熊本

Takuma Hashimoto, Tsuyoshi Fukaminato, Sunnum Kim, Tomonari Ogata, Seiji Kurihara, 「Reversible fluorescence photoswitching with non-destructive fluorescence readout capability based on a cooperative photoorientation」、The 2nd International Conference on Photoalignment & Photopatterning in Soft Materials, 2016年11月24-27日、Nagoya University, Nagoya

Ryoya Takashima, Tsuyoshi Fukaminato, Sunnum Kim, Tomonari Ogata, Seiji Kurihara, 「Photocontrol of cytotoxicity by using photoresponsive surfactants」、The 2nd International Conference on Photoalignment & Photopatterning in Soft Materials, 2016年11月24-27日、Nagoya University, Nagoya

21 Sanae Ishida, Tsuyoshi Fukaminato, Sunnum Kim, Tomonari Ogata, Seiji Kurihara, 「Multi-color fluorescence photoswitching based on a giant fluorescence quenching in fluorescent photochromic nanoparticles」、The 2nd International Conference on Photoalignment & Photopatterning in Soft Materials, 2016年11月24-27日、Nagoya University, Nagoya

22 高島諒哉、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、2016年光化学討論会、2016年9月6-8日、東京大学 駒場キャンパス、東京

23 橋本拓磨、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、「アゾベンゼン高分子液晶中にドーブされた蛍光色素の協同的光配向挙動と蛍光スイッチング」、2016年光化学討論会、2016年9月6-8日、東京大学 駒場キャンパス、東京

24 石田沙奈恵、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、「蛍光性ジアリールエテナノ粒子を用いたマルチカラー蛍光スイッチング」、2016年光化学討論会、2016年9月6-8日、東京大学 駒場キャンパス、東京

- 25 深港豪、「フォトクロミック分子の集合化による機能創出」、九州地区高分子若手研究会・夏の講演会(招待講演)、2016年7月1-2日、アルモニースルク、福岡
- 26 佐々木志乃、渡部智大、朝日剛、深港豪、「蛍光性ジアリールエテン誘導体の単一ナノ粒子分光」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学杉本キャンパス、大阪
- 27 石田沙奈恵、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、「蛍光性フォトクロミックナノ粒子を用いた多色蛍光スイッチング」、日本化学会第96春季年会、2016年3月24-27日、同志社大学京田辺キャンパス、京都
- 28 高島諒哉、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、新留琢郎、「光応答性微小管重合阻害剤の合成」、日本化学会第96春季年会、2016年3月24-27日、同志社大学京田辺キャンパス、京都
- 29 橋本拓磨、深港豪、金善南、緒方智成、栗原清二、「アゾベンゼン高分子液晶中における協同的光配向を利用した蛍光スイッチング」、日本化学会第96春季年会、2016年3月24-27日、同志社大学京田辺キャンパス、京都
- 30 渡辺智大、佐々木志乃、石橋千英、深港豪、朝日剛、「蛍光性ジアリールエテン誘導体/ベンゾチアゾール混合ナノ粒子の蛍光挙動」、日本化学会第96春季年会、2016年3月24-27日、同志社大学京田辺キャンパス、京都
- 31 S. Yokojima, K. Shinoda, T. Fukaminato, S. Nakamura, 「Effect of triplet on cyclization reaction of diarylethene linked to fluorescent dye」、日本化学会第96春季年会、2016年3月24-27日、同志社大学京田辺キャンパス、京都
- 32 大戸貴史、緒方智成、金善南、深港豪、栗原清二、「酸化グラフェンによるナノ構造体の構築」、日本化学会第96春季年会、2016年3月24-27日、同志社大学京田辺キャンパス、京都
- 33 T. Fukaminato, J. Su, K. Nakatani, R. Métivier, 「Efficient fluorescence photoswitching by few photons in fluorescent photochromic nanoparticles」、Asian International Symposium-Photochemistry-(招待講演)、2016年3月25日、Doshisya University, Kyoto, Japan
- 34 T. Fukaminato, H. Takashi, K. Matsuda, M. Irie, 「Development of Photochromic Molecules」、2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015年12月15-20日、Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii
- 35 K. Nakatani, R. Métivier, S. Maisonneuve, J. Xie, P. Yu, K. Ouhenia-Ouadahi, J. Su, T. Fukaminato, J.-P. Placiat, A. Brosseau, J. Audibert, R. Pansu, 「Amplified Photoswitching in Fluorescent Photochromic Molecules and Nanomaterials」、2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015年12月15-20日、Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii
- 36 T. Fukaminato, R. Métivier, K. Nakatani, M. Irie, 「Efficient photoswitchable fluorescent molecular nanosystems based on photochromic organic molecules」、The 19th International Symposium on ADVANCED DISPLAY MATERIALS & DEVICES (招待講演)、2015年10月22-25日、The K-Hotel, Gyeongju, Korea
- 37 深港豪、「蛍光性フォトクロミック分子材料の開発と単一分子蛍光スイッチング」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学杉本キャンパス、大阪
- 38 佐々木志乃、渡部智大、朝日剛、深港豪、「蛍光性ジアリールエテン誘導体の単一ナノ粒子分光」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学杉本キャンパス、大阪
- 39 T. Fukaminato, T. Hirose, K. Matsuda, M. Irie, 「Molecular Design Strategy toward Diarylethenes That Photoswitch with Visible Light」、27th International Conference on Photochemistry 2015, 2015年6月28日-2015年7月3日、ICC JEJU, Jeju Island, Korea
- 40 R. Métivier, J. Su, K. Ouhenia, S. Maisonneuve, C. Pavageau, J.-P. Placiat, A. Brosseau, R. Pansu, J. Xie, K. Nakatani, P. Yu, T. Fukaminato, 「Amplification of Fluorescence Photoswitching in Organic and Hybrid Nanoparticles」、27th International Conference on Photochemistry 2015, 2015年6月28日-2015年7月3日、ICC JEJU, Jeju Island, Korea

〔図書〕(計 1件)

T. Fukaminato, M. Irie, Photon-Working Switches; Chapter 8: Diarylethenes that Photoswitch with Visible Light, Springer, 2017, pp.169-180
ISBN: 978-443156544-4

6. 研究組織

(1)研究代表者

深港 豪 (FUKAMINATO TSUYOSHI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 80380583